

формационных процессов сдвига в плоскости сопряжения ремонтируемого материала с материалом покрытия и оценить степень однородности асфальтобетонного покрытия в местах ямочного ремонта. Такой подход является перспективным для разработки эффективных технологий ямочного ремонта.

3. Для достижения требуемых значений K_{pc} необходимо совершенствовать методы разделки ремонтных «карт» и улучшать качество материала для их заполнения.

1. **Зуб В. Н.** Совершенствование технологии текущего ремонта асфальтобетонных покрытий в условиях пониженных температур и повышенной влажности / Дис. ... канд. техн. наук. – Харьков, 1989. – 192 с.

2. **Рекомендации по совершенствованию технологии и оценке эффективности ямочного ремонта дорожных асфальтобетонных покрытий / Я. Н. Ковалев, А. Ю. Игопкина** // Департамент «Белавтодор». – Мн., 2005.

3. **РД 0219.1.21–2001.** Диагностика автомобильных дорог.

УДК 625.855.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАКРОСТРУКТУРЫ АСФАЛЬТОБЕТОНА

Докт. техн. наук, проф. ВЕРЕНЬКО В. А., инж. ВЕРБИЛО Н. И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время на автомагистралях Республики Беларусь наблюдается рост грузоподъемности движущегося транспорта, увеличивается интенсивность движения. Дорожные одежды испытывают все возрастающие транспортные нагрузки. В связи с этим к прочностным и деформационным качествам дорожно-строительных материалов (в частности, асфальтобетона) предъявляются повышенные требования.

Для устройства дорожного покрытия применяется высокощелебенистый асфальтобетон, в составе которого объем крупного заполнителя (щебня) достигает 60 % и более. При такой насыщенности крупным заполнителем прочностные и деформационные качества асфальтобетона во многом характеризуется параметрами его макроструктуры.

Согласно [1], макроструктура асфальтобетона обусловлена крупностью, формой и взаимным расположением зерен щебня относительно друг друга, а также формой и чистотой поверхности щебня и ее взаимодействием с пленкой битума. Очевидно, что макроструктура асфальтобетона формируется непосредственно

после укладки и уплотнения асфальтобетонного покрытия.

В данной работе исследуется влияние некоторых параметров макроструктуры асфальтобетона (форма зерен щебня и их взаимное расположение) на его качество. В высокощелебенистом асфальтобетоне щебень образует пространственный каркас, воспринимающий нагрузки автомобиля. При уплотнении асфальтобетонной смеси катками, а также при интенсивном движении транспорта высокой грузоподъемности во время эксплуатации растягивающее напряжение в некоторых зернах щебня со значительным превышением одного размера по отношению к другому может превысить допустимое, что повлечет за собой их разрушение, и как следствие – снижение прочности всей системы, появление поверхностей, не обработанных битумом. Поэтому для получения качественного и недорогого асфальтобетона важно определить как допустимое процентное содержание зерен щебня различной формы, так и предельное соотношение максимального и минимального размеров зерен щебня, содержание которых требуется ограничить.

Считается, что оптимальной формой щебня является кубовидная или близкая к ней тетраэдрическая, а ограничивается процентное содержание пластинчатых (лещадных) и игольчатых зерен щебня. Согласно ГОСТ 8267-93 к пластинчатым (лещадным) и игольчатым относят частицы, длина которых превышает толщину в три и более раз, т. е. ограничивается содержание зерен щебня, у которого предельное соотношение максимального и минимального размеров выше трех. Здесь также требуется уточнение влияния размеров и формы частиц на свойства асфальтобетона.

Следует также иметь в виду, что стоимость кубовидного щебня почти в два раза выше рядового. Поэтому данное исследование позволит уменьшить расход дорогостоящего кубовидного щебня, увеличить применение щебня пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы и соответственно снизить стоимость асфальтобетона.

Для теоретического исследования влияния формы зерен щебня, их содержания и взаимного расположения на свойства асфальтобетона был применен метод конечных элементов (МКЭ). В целях упрощения зерна кубовидной формы принимались в виде правильных квадратов, а зерна пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы – в виде прямоугольников с соотношением меньшей и большей сторон $1:n = 1:(3...6)$. Для создания этих моделей с разным количественным содержанием зерен щебня той или иной формы была создана специальная программа «KUB», в которой соответственно заданному количеству процентного содержания зерен щебня той или иной формы плоская модель асфальтобетона максимально заполняется упрощенными моделями зерен щебня – квадратами и прямоугольниками с заданными формами.

Расчетная схема была принята с учетом следующих начальных условий:

- 1) жесткое защемление пластины снизу и запрещение перемещений по оси OX по бокам;
- 2) вертикальная нагрузка принималась равной 1,0 МПа (рис.1).

В межзерновых пространствах предполагается наличие матрицы асфальтовяжущего (битум + песок + минеральный порошок) в виде упругого тела с одинаковыми свойствами в лю-

бой точке. Щебень и матрица асфальтовяжущего имели следующие начальные показатели:

$$E_{\text{упр}} = 50...51 \text{ ГПа}; \nu = 0,28; \rho = 2,65 \text{ г/см}^3; \quad (1)$$

$$E_{\text{упр}} = 1,4...1,5 \text{ ГПа}; \nu = 0,36; \rho = 2,31 \text{ г/см}^3, \quad (2)$$

где $E_{\text{упр}}$ – модуль упругости материала; ν – коэффициент Пуассона; ρ – плотность материала.

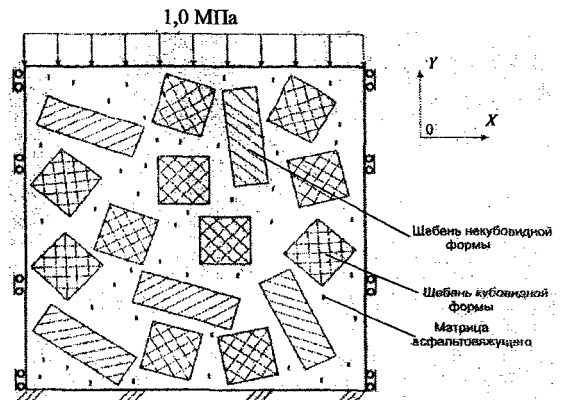


Рис. 1. Модель плоского напряженного состояния

Форма щебня пластинчатой (лещадной) и игольчатой форм, задаваемая в моделях, равна $1:(3...6)$. Процентное содержание щебня с соотношением сторон $1:3$ колебалось от 10 до 90 %, щебня с соотношением сторон $1:4$ и $1:6$ – от 20 до 80 %. Модели плоского напряженного состояния рассчитывались методом конечных элементов.

В результате проведенных расчетов проанализированы:

1) распределение растягивающих напряжений в зернах пластинчатой (лещадной), игольчатой и кубовидной формы. Установлено, что концентрация напряжений в зернах кубовидной формы происходит в основном по краям зерна, в то время как в зернах пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы – в центре. Следовательно, при достижении предельного значения напряжения зерно пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы полностью разрушится, тогда как зерно кубовидной формы лишь частично утратит свои прочностные качества (рис. 2);

2) соотношение среднего растягивающего напряжения в зернах пластинчатой (лещадной), игольчатой и кубовидной формы в зависимости от процентного содержания некубовидного щебня и его формы (с соотношением сторон $1:3, 1:4, 1:6$). Результаты представлены на рис. 3.

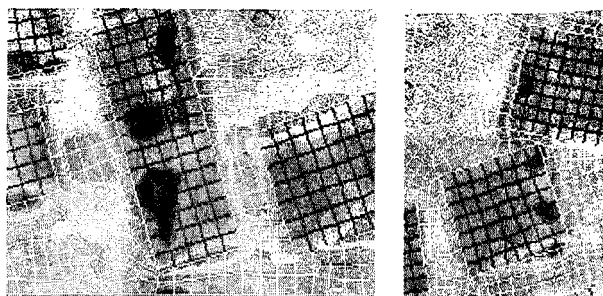


Рис. 2. Концентрация напряжений в зернах различной формы

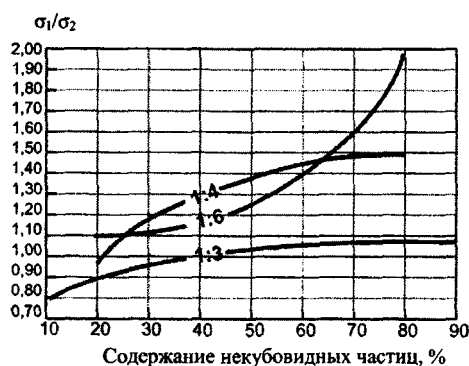


Рис. 3. Зависимость соотношений среднего растягивающего напряжения в зернах некубовидной и кубовидной формы в зависимости от процентного содержания некубовидного щебня и его формы: σ_1 – среднее растягивающее напряжение в зернах пластинчатой (лещадной) и игловатой формы; σ_2 – то же кубовидной формы

Были получены следующие выводы:

а) при соотношении наименьшего и наибольшего размеров в щебне пластинчатой (лещадной) и игловатой формы 1:3 разрушение под воздействием растягивающих напряжений пластинчатых (лещадных) игловатых и кубовидных частиц происходит практически с одинаковой вероятностью;

б) при соотношении наименьшего и наибольшего размеров в щебне пластинчатой (лещадной) и игловатой формы 1:4...1:6 и выше и его содержании более 35...40 % наблюдается резкий рост растягивающих напряжений в данных зернах по отношению к зернам кубовидной формы, т. е. значительно увеличивается возможность разрушения отдельных зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, и как следствие – снижение прочностных качеств асфальтобетона в целом.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что для приготовления качественного и долговечного асфальтобетона в используемом щебне следует ограничивать содержа-

ние зерен размерами с соотношением наименьшего к наибольшему как 1:4 и более.

С целью экспериментального исследования влияния различного содержания кубовидного щебня и щебня пластинчатой (лещадной) и игловатой формы с соотношением максимальной и минимальной сторон три и более было изготовлено несколько серий образцов-цилиндров асфальтобетона типа А следующего состава: щебень фракции 10...20 – 60 %; гранитный отсев – 20; песок природный – 12; минеральный порошок – 8 %.

В качестве вяжущего использовали битумы Новополюцкого НПЗ марки БНД 90/130 в количестве 5,3...5,5 % минеральной части.

Выполнены исследования надежности асфальтобетона на устойчивость к температурным и усталостным трещинам и дробимости при уплотнении. Для оценки дробимости при уплотнении образцы уплотняли нагрузкой, превышающей нормативную в два раза.

Дробимость и падение прочности на растяжение при 0 °С становятся заметными также при содержании лещадных частиц более 30 %. Характерно, что повышение прочности на растяжение происходит при 0 °С с увеличением количества лещадных частиц (рис. 4). То есть содержание частиц до 30 % положительно сказывается на прочности на растяжение при 0 °С и трещиностойкости. Объяснить это можно определенной «армирующей» способностью лещадных частиц и большим восприятием растягивающих напряжений. Это «разгружает» матрицу асфальтовяжущего и способствует росту прочности.

В наибольшей степени отрицательное влияние лещадных частиц проявляется на сопротивлении износу. В этом случае их содержание следует ограничить 20 %.

Согласно ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний» п. 4.7 «Определение содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы» содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы в общей массе щебня может оцениваться с помощью либо передвижного шаблона, либо щелевидных сит. Однако при просеивании щебня некоторые из прошедших через щелевидные отверстия сита зерен не будут являться пластинчатыми, в то время как в зернах

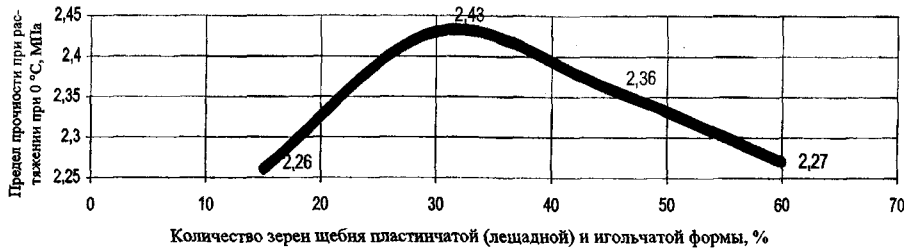


Рис. 4. Зависимость предела прочности при растяжении при 0 °С асфальтобетона от количества зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы

щебня, не прошедших сквозь щелевидные отверстия, будут находиться пластинчатые и игольчатые зерна.

Для доказательства этого утверждения зерно щебня принимаем в форме прямоугольного параллелепипеда с длиной c , шириной b и высотой a (рис. 5).

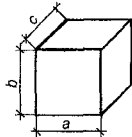


Рис. 5. Зерно щебня

Для определения содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы согласно ГОСТ необходимо каждую фракцию щебня просеять через щелевидное сито. Рассмотрим фракцию щебня 10...20 мм.

В этой фракции содержатся зерна, у которых два размера лежат в пределах от 10 до 20 мм, т. е. $a, b = 10...20$ мм. Третий размер c зерна этой фракции может принимать любые значения, т. е. $c = 0...∞$ мм. Размер отверстий щелевидных сит для фракции 10...20 мм согласно ГОСТ составляет 5×20 мм. Таким образом, сквозь это отверстие пройдут зерна, у которых $c = 0...5$ мм.

При $c = 3...5$ мм; $a, b = 10...15$ мм в зернах, прошедших сквозь щелевидное сито, будут встречаться зерна, которые нельзя отнести к пластинчатым (например, зерно с размерами 4,5×11,0×11,8 мм).

При $c = 6...7$ мм; $a, b = 18...20$ мм, т. е. в части зерен, не прошедших сквозь щелевидное сито, будут встречаться зерна, которые можно отнести к пластинчатым (например, зерно с размерами 6,2×18,0×19,8 мм).

При увеличении параметра $c > 30$ мм в части зерен, не прошедших сквозь щелевидное сито, будут встречаться зерна, которые можно отнести к игольчатым (например, зерно с размерами 35,8×11,2×10,8 мм).

Таким образом, изложенный выше метод определения содержания зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы с помощью щелевидных сит не позволяет достаточно точно разделить массу щебня на кубовидный, лещадный (пластинчатый) и игольчатый. Для повышения точности разделения зерен щебня различной формы можно предложить сужение интервалов по фракциям до 2...3 мм и соответственно изменить размеры щелевидных сит.

ВЫВОДЫ

1. В асфальтобетонных смесях к «лещадным» следует отнести частицы с соотношением сторон 1:(4...6), в отличие от ГОСТ 8267-93, где к лещадным относят частицы с соотношением сторон 1:3 и более.

2. В асфальтобетонных смесях (в том числе типа А) содержание лещадных частиц может достигать 30 % без существенного влияния на основные физико-механические свойства (сдвигоустойчивость, трещиностойкость, дробимость при уплотнении). Может наблюдаться даже положительный эффект.

3. Если содержание лещадных частиц сказывается на сопротивлении износу отрицательно, то следует ввести ограничение 25 %. При более высоком содержании необходимо устройство слоя износа.

4. Применение существующих щелевидных сит для выделения из общей массы щебня зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы не обеспечивает необходимого результата. Для увеличения точности разделения предлагается сужение интервалов по фракциям до 2...3 мм и соответственно изменение размеров щелевидных сит. Данный вопрос требует дальнейшей проработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. — М.: Вышп. шк., 1969.